

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky 420

**Projektování silnoprůdého rozvodu a systému řízení
technologických procesů**

Designing of electrical power switchboard
and control system of technological processes

2012

Šimon Robenek

Zadání bakalářské práce

Student: **Šimon Robenek**

Studijní program: B2648 Projektování elektrických zařízení

Téma: **Projektování silnoprůdého rozvodu a systému řízení technologických procesů**
Designing of electrical power switchboard and control system of technological processes

Zásady pro vypracování:

Cíle:

Student provede rozbor a návrh technického řešení automatizace technologického celku a na základě získaných informací od zadavatele vytvoří projekt silnoprůdého rozvodu, návrh systému řízení technologického procesu do podoby výkresové a technické dokumentace a to včetně soupisu dodávek a prací potřebných pro realizaci projektu. Práce bude realizována v prostorách a dle zadání zadavatele - firmy PROSPECT spol. s r.o. ve formě praxe studentů.

Obsah práce:

1. Obstarání dat o technologickém celku
2. Seznámení se s příslušnými normami, předpisy a podklady k dané problematice
3. Návrh rozvaděčů a dimenzování jisticích ochranných zařízení a rozvodů
4. Návrh systému řízení technologických procesů, vč. čidel měření a regulace
5. Zpracování výkresové a technické dokumentace na platformě EPLAN P8 a generování potřebných výstupů
6. Soupis dodávek a stručná ekonomická rozvaha pro rok 2012
7. Zhodnocení přínosu ve firmě získaných odborných a praktických dovedností pro další odbornou kariéru

Seznam doporučené odborné literatury:

Literatura a použité materiály:

1. Normy ČSN platné v době zpracování projektu
2. Katalogové údaje
3. Technická řešení použita na stavbách obdobného charakteru

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.**

Datum zadání: 18. 11. 2011

Datum odevzdání: 4. 5. 2012



doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 1.května 2012


Simon Robenek

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských programech VŠB-TU Ostrava”

V Ostravě dne 27.dubna 2012

PROSPECT
spol. s r.o.
Výstavní 2224/8
709 00 Ostrava - Mar. Hory
IČO: 14616688, DIČ: CZ14616688

4

Ing. Jan Vilím

podpis a razítko

Poděkování

Chtěl bych touto cestou poděkovat firmě PROSPECT spol. s r.o. za umožnění realizace, konzultování a poskytnutí prostředků pro vytvoření bakalářské práce. Především pak jednateři firmy Ing. Janu Vilímovi, technickému řediteli Ing. Jiřímu Stachovi, autorizovaným projektantům Ing. Petru Sajovi, Ing. Josefu Peterovi a celému kolektivu firmy.

Abstrakt

Cílem této práce je vytvořit projektovou dokumentaci pro rekonstrukci a opravu elektrického zařízení hydraulických tabulových nůžek CNTA3150/16 dle smluvního rozsahu mezi firmou PROSPECT spol. s r.o. a zadavatelem TŽ Třinec. Pro realizaci je potřeba se seznámit s navrhováním a projektováním elektrických strojů a legislativou spojenou s jejich provozem a užíváním. Nutné je především dbát na současné normativní požadavky a technologie a to především v posuzování bezpečnosti stroje. Dále je potřeba zavést spouštění výkonových prvků s ohledem na selektivitu jištění. K výběru přístrojového vybavení je pak nutno vyhodnotit zkratové poměry v silových obvodech napájení stroje, dimenzovat jištění. Dokumentace bude vyhotovena pomocí softwaru ePlan P8 a AutoCAD.

Klíčová slova

Bezpečnostní technika strojů; zkratové poměry; spouštění asynchronního motoru; ePlan P8

Abstract

The aim of this work is to create project documentation for reconstruction and repair of electrical equipment hydraulic table shears CNTA3150/16 according to the contract between the company PROSPECT Ltd. and customer TZ Trinec. For the realization is needed to familiarize with design of electrical machines and legislation related to the operation. It is necessary to pay particular attention to the current normative requirements and technology, especially in assessing the safety of machines. It is also needed respect selectivity of protection for starting power elements. The choice of instrumentation is then necessary to evaluate the short-circuit conditions in the power supply machinery, choose size fuses. Documentation shall be prepared by P8 ePlan software and AutoCAD.

Keywords

Machine safety engineering; short-circuit conditions; starting three-phase asynchronous motor; ePlan P8

Seznam použitých symbolů a zkratek

I_k''	počáteční rázový zkratový proud
I_b	vypínací proud
i_p	nárazový proud
$ \vec{Z}_S $	absolutní hodnota impedance sítě
$ \vec{Z}_K $	absolutní hodnota impedance napájecího kabelu
$U_{výp}$	ekvivalentní napětí ekvivalentního zkratového zdroje
U_n	jmenovité napětí
I_{KS}''	počáteční rázový zkratový proud napájecí sítě
c	napěťový součinitel, měrné teplo
k	korekční součinitel pro druh zkratu
R_S	odporová složka nadřazené sítě
X_S	reaktanční složka nadřazené sítě
R_{K80}	odporová složka napájecího kabelu
X_{K80}	reaktanční složka napájecího kabelu
P	výkon
$\Delta\vartheta_\infty$	konečné oteplení
T	teplota, tepelný odpor
R	rezistivita
I	elektrický proud
e	Eulerovo číslo, základ přirozených logaritmů
t	čas
τ	teplotní součinitel
$\Delta\vartheta$	oteplení
$\Delta\vartheta_Z$	dovolené oteplení
I_Z	maximální dovolený proud kabelu
κ	součinitel rázového zkratového proudu
Δu	úbytek napětí
A	elektrická práce
ρ_{Al20}	rezistivita hliníku při 20°C
α_{Al}	teplotní součinitel hliníku
ΔT	oteplení
k_U	poměr napětí
U_f	fázové napětí

U_S	sdílené napětí
U_Y	napětí na statorovém vinutí asynchronního motoru AM v zapojení do hvězdy
U_{Δ}	napětí na statorovém vinutí AM v zapojení do trojúhelníku
M_{ZN}	záběrový moment
n	otáčky
I_{nSOFT}	jmenovitý elektrický proud softstartéru
I_n	jmenovitý proud
n_{OP}	počet operací za rok
h_{ROK}	počet provozních hodin za rok
t_{CYKLU}	minimální čas jednoho pracovního cyklu
$MTTF_d$	střední doba do poruchy
B_{10d}	maximální počet cyklů přístroje
DC_{AVG}	průměrné diagnostické pokrytí

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Technický popis stroje.....	1
3.	Dimenzování přívodního kabelu	2
1.1	Odolnost kabelu a stroje proti zkratovému proudu	2
1.2	Oteplení kabelu.....	5
1.3	Nárazový zkratový proud i_p	9
1.4	Úbytek napětí na přívodním kabelu	9
1.5	Ekonomické zhodnocení provozu kabelového přívodu hydraulických nůžek	10
4.	Spouštění asynchronního motoru	12
1.6	Spouštění hvězda - trojúhelník	12
1.7	Softstartér	14
1.8	Výběr vhodného softstartéru	15
5.	Provozování stroje a posuzování rizik.....	17
1.9	Normy pro řešení rizika.....	18
1.10	Nalezení rizika.....	19
1.11	Posouzení rizika rekonstruovaného zařízení	19
1.12	Krok A – Posouzení rizik a identifikace potřebných bezpečnostních funkcí.....	20
1.13	Krok B – Stanovení požadované úrovně vlastností (PLr) bezpečnostní funkce	20
1.14	Krok C – Výběr a posouzení přístrojů, které mají vykonávat bezpečnostní funkce	20
1.15	Krok D - Posouzení úrovně vlastností PL všech částí souvisejících s bezpečností.....	21
1.16	Krok E - Ověření, zda je PL každé SRP/CS (název bezpečnostního řídicího systému stroje dle ČSN EN 13849-1) bezpečnostní funkce alespoň stejné jako PLr.	24
1.17	Krok F – Ověření splnění všech požadavků dle ČSN EN 13849-2.....	25
6.	Návrh systému řízení technologického procesu a návrh čidel měření	26
1.18	Řídicí systém	26
1.19	Koncové spínače polohy	26
1.20	Inkrementální čidlo.....	26
1.21	Měření teploty a hladiny hydraulického oleje	26
1.22	Měření hladiny mazacího oleje	26
7.	Ekonomické zhodnocení	26
8.	Zhodnocení přínosu zkušeností ve firmě.....	27
9.	Závěr.....	28
10.	Citovaná literatura	29
11.	Seznam příloh.....	30

1. Úvod

Práce je realizována, jako odborné zadání z firmy. Výstupem této bakalářské práce je pak realizační dokumentace, pro provádění rekonstrukce elektro výzbroje na hydraulických nůžkách CNTA 3150/16. Zadavatelem jsou Válcovny trub – provoz Třineckých železáren se sídlem v Ostravě Vítkovicích. Nůžky jsou umístěny v zámečnické dílně tohoto závodu. Toto strojní zařízení bylo vyrobeno v roce 1983 v Liptovských strojárnách, Piesok, jelikož od jejich instalace v závodě bývalých Vítkovic neprošly renovací, ale pouze drobnými opravami je nezbytně nutná jejich rekonstrukce. Podnětem jsou i časté poruchy. Proto zadavatel zadal požadavek kompletní výměny elektroinstalace hydraulických nůžek, včetně jeho vybavení jak silové části v podobě stykačů a jisticích prvků, tak i řídicího systému. Dále určených čidel a veškerých kabelových rozvodů. Současně s tím repasování dvou dvouručních ovládacích stanovišť, které je potřeba osadit novými ovládacími prvky a rovněž je třeba provést repasování dvouručních ovládacích stanovišť. Pro realizaci je nutno posoudit nůžky dle současných norem. V práci je v jednotlivých kapitolách uveden rozbor bezpečnostního ovládání stroje, ověření dimenzování přívodního kabelu, spouštění 3f AM pro hydrogenerátor, stručné ekonomické rozvahy a parametry výběru čidel měření. Kapitulu stanovení bezpečnostního ovládání, lze následně i využít jako příklad návrhu a vyhodnocení.

2. Technický popis stroje

Hydraulické nůžky jsou určené pro přímočaré stříhání ocelových tabulí a pásů válcovaných za tepla s nespojitým pochodem z oceli tříd 10 až 16 o tloušťce 1,6 - 16mm. Maximální délka stříhaného plechu 3150mm. Dále je možno stříhat pásy z ocelových plechů, neželezných kovů a jiných hmot, které mají podobné vlastnosti jako předem uvedené příklady.

Nůžky bez speciálního vybavení umožňují stříhat na přední nebo zadní doraz, podle bočního pravítka, dle nastavitelného rozhraní. Ovládání může být uzpůsobeno i pro dvě osoby připojením dalšího dvouručního ovládače.



Obrázek 1 - Tabulové nůžky CNTA3150/16

3. Dimenzování přívodního kabelu

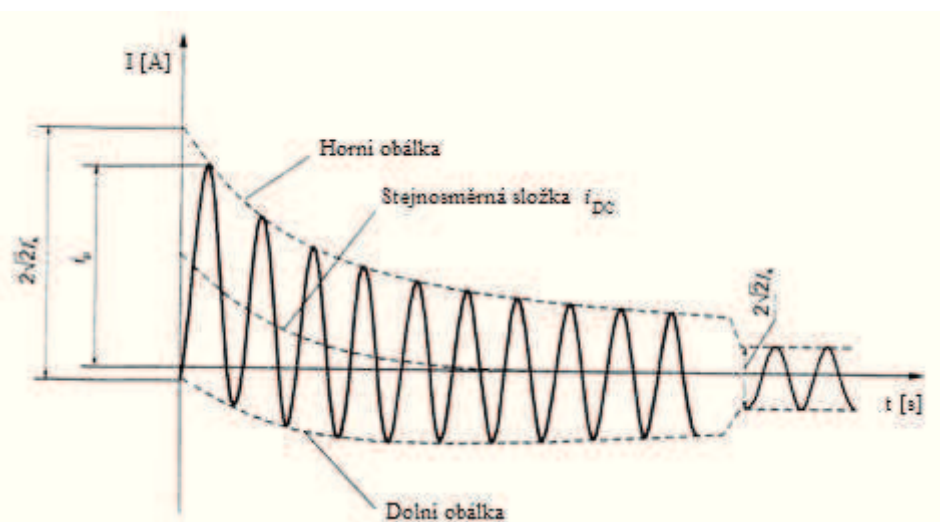
Pro dimenzování vedení je třeba brát v úvahu odolnost proti zkratovému proudu, přípustné dovolené oteplení, dovolený úbytek napětí, a ekonomiku provozu.

Pro napájení nůžek bude využit stávající kabel 1-AYKY-J 4x35mm² dle požadavků zadavatele, který je uložen na vzduchu v kabelovém kanále z rozvodny. Délka kabelu je 80m. Dle zadávací dokumentace je počáteční rázový zkratový proud v rozvodně 12kA. Napětí sítě 400V. Potřebný jmenovitý proud pro motorový pohon (3fAM- 30kW) tabulových nůžek a vybavení stroje je požadován 65A.

1.1 Odolnost kabelu a stroje proti zkratovému proudu

Pro projektování elektrických sítí je nezbytný výpočet maximálního zkratového proudu, který může vzniknout při zkratu na začátku obvodů, ale i minimálního zkratového proudu, který může vzniknout na konci obvodů. Maximální zkratový proud je třeba zjistit, aby se ověřily spolehlivosti jistících přístrojů, pro bezpečné vypnutí elektrického obvodu v případě poruchy, dále není překročeno dovolené namáhání vodičů a to zvláště jejich tepelné namáhání. Minimální zkratový proud je potřeba ověřit pro kontrolu, zda nedojde k tepelnému namáhání vodičů a kabelů a také, aby jistící přístroj stroje byl schopen vybavit i při nejvzdálenějším zkratu [1]. Pro výpočet zkratových poměrů jsou využity normy ČSN EN 60909-0, ČSN 333020 a ČSN IEC 909-2.

Zkratový proud se skládá ze dvou základních složek, tj. složky stejnosměrné i_{DC} , která zaniká přibližně po 250ms a složky střídavé i_{KS} , která kmitá kolem složky stejnosměrné kmitočtem sítě a její amplituda postupně klesá. Střídavá složka se dále skládá ze tří složek, a to rázové, přechodové, ustálené. Všechny tyto složky mají frekvenci sítě. Rázová a přechodová složka exponenciálně klesají, ustálená složka zůstává neměnná [2].



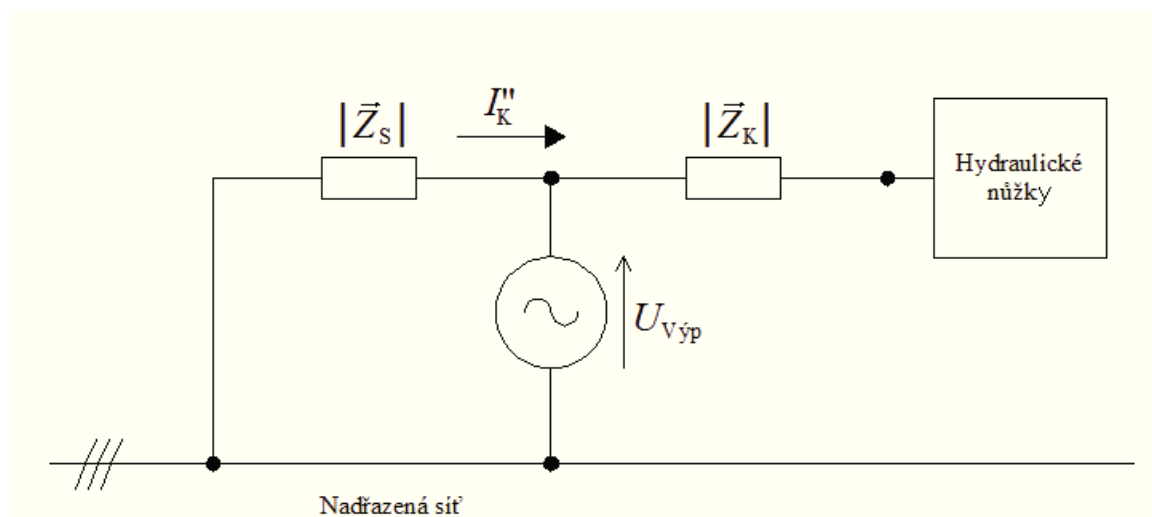
Obrázek 2 - Obecný průběh zkratového proudu [2]

Pro případ napájení hydraulických nůžek jsou důležité zejména parametry, pro výběr velikosti a typu vypínačů a jistících prvků, tedy počáteční rázový zkratový proud I_k'' . Jelikož zkraty vzniklé na přívodním kabelu nůžek jsou vzdálené zkraty, není nutno počítat ustálený zkratový proud I_k , protože bude stejný, jako počáteční rázový zkratový proud I_k'' .

Vypínací proud I_b bude také roven zkratovému proudu I_k'' , jelikož v síti nejsou žádné vysokonapěťové turbogenerátory, generátory s vyniklými póly nebo synchronní kompenzátory, které se budí točivými budiči [3]. Dalším důležitým parametrem nárazový proud i_p . Tento proud je maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu. Jeho velikost je závislá na okamžiku, ve kterém zkrat nastane. U trojfázových zkratů se předpokládá, že zkratový proud vzniká ve všech fázových vodičích [3].

Metoda výpočtu zkratových poměrů je založena na zavedení ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Tento zdroj je jediným aktivním napěťovým zdrojem soustavy. Ostatní síťové napáječe, popř. motory, jsou nahrazovány svými vnitřními impedancemi. Problém nastává v tomto případě, že neznáme síťový napáječ a tedy nemůžeme přesně stanovit impedanční složky. Pro výpočet by se dala použít kompoziční metoda, která se může uplatňovat v případech, kdy výkon nepřekračuje 800kVA. Umožňuje určit zkratový maximální zkratový proud na koncích obvodů instalace za předpokladu, že je známý zkratový proud na začátku instalace a impedance vedení [1]. Vychází se z předpokladu, že impedance sítě $|\vec{Z}_S|$ má stejný nebo podobný fázový uhel, jako impedance napájení nůžek $|\vec{Z}_K|$, pro kterou je zkratový proud počítán. Literatura připouští, že pokud tomuto předpokladu vyhoví nebo lze předpokládat, že vyhovuje, lze impedance obou částí počítat algebraicky namísto jejich vektorového součtu [1]. V následujícím výpočtu však tato metoda nebude užita a bude se vycházet z normativních údajů.

Schéma pro překreslení náhradního zdroje v místě připojení napájecího kabelu je následující:



Obrázek 3 - Překreslené náhradní schéma místa připojení nůžek

Ekvivalentní zdroj napětí lze vyjádřit jako

$$U_{vyp} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}. \quad (1)$$

Kde U_n je jmenovité napětí sítě. Napěťový součinitel c je rovný jedné pro síť nízkého napětí. Pro stanovení maximálního zkratového proudu je roven 1 a minimálního 0,95 [4].

Zkratový proud pro $I_{KS}'' = 12\text{kA}$ je dán vztahem

$$I_{KS}'' = k \cdot \frac{U_{Výp}}{|\vec{Z}_S|} = k \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |\vec{Z}_S|}, \quad (2)$$

kde U_n je jmenovité napětí sítě 400V, k je zde součinitel pro různé druhy zkratů (pro třífázový je korekční součinitel impedancí $k = 1$), Z_S je velikost impedance napájecí sítě. Z takto zadaných parametrů je možno odvodit impedanci sítě

$$|\vec{Z}_S| = k \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{KS}''} = 1 \cdot \frac{1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 12000} = 19,25\text{m}\Omega \quad (3)$$

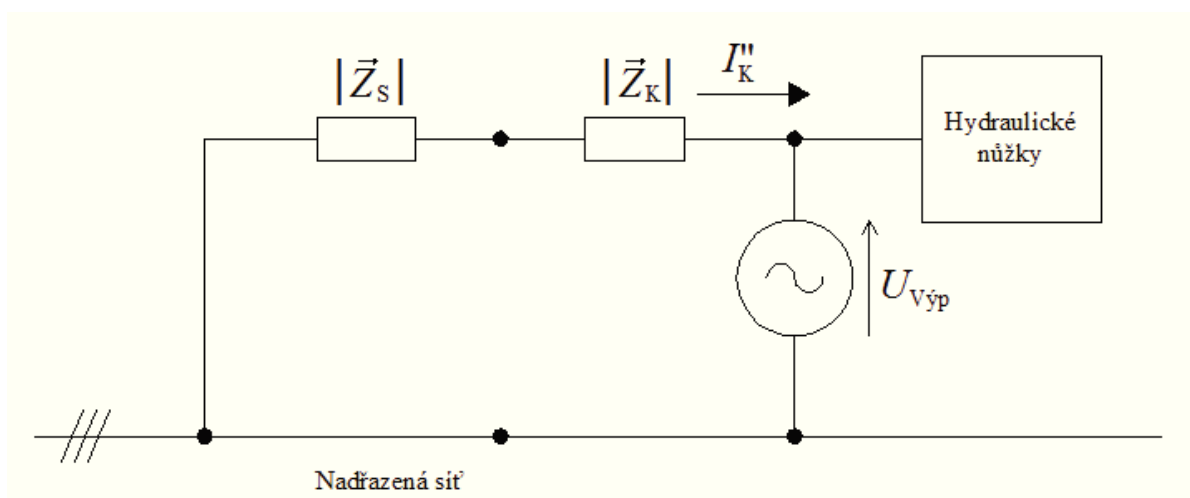
Protože nejsou známy parametry sítě, lze je stanovit pro zkratový proud $I_{KS}'' = 12\text{kA}$ dle tabulky uvedené v ČSN 333020. Podíl odporu a reaktance sítě pro $I_{KS}'' = 12\text{kA}$ je následující

$$R_S = 0,3 \cdot 0,019245 = 5,77\text{m}\Omega \quad (4)$$

$$X_S = 0,954 \cdot 0,019245 = 18,36\text{m}\Omega \quad (5)$$

$$|\vec{Z}_S| = (5,77 + j18,36)\text{m}\Omega. \quad (6)$$

Jelikož tvoří odporová složka impedance $|\vec{Z}_S|$ přibližně 30% reaktanční, lze ji zanedbat [1]. Pro přesnost výpočtu je však ponechána pro další výpočet.



Obrázek 4 - Zkratový proud v místě připojení nůžek

Nyní lze ekvivalentní zdroj přenést na konec kabelu, stanovit impedanci kabelu podle délky a tabulkových hodnot pro zadaný kabel 1-AYKY-J 4x35mm² ($R_K = 0,8846\Omega/\text{km}$, $X_K = 0,086\Omega/\text{km}$). Výpočet reaktance kabelu v tomto případě je malá, jelikož se jedná o desetiny Ohmu a navíc délka kabelu je 80m. Výpočet impedance kabelu

$$R_{K80} = 0,08 \cdot 0,8846 = 70,77\text{m}\Omega \quad (7)$$

$$X_{K80} = 0,08 \cdot 0,086 = 6,88\text{m}\Omega \quad (8)$$

$$|\vec{Z}_K| = (70,77 + j6,88)\text{m}\Omega. \quad (9)$$

Výsledný počáteční zkratový proud I_K'' je dán vztahem

$$I_K'' = k \cdot \frac{U_{V\ddot{y}p}}{|\vec{Z}|} = k \cdot \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \left| |\vec{Z}_S| + |\vec{Z}_K| \right|}. \quad (10)$$

Po dosazení ze vztahů

$$I_K'' = 1 \cdot \frac{1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{\{[(5,77 + 70,768) \cdot 10^{-3}]\}^2 + \{[(18,36 + 6,88) \cdot 10^{-3}]\}^2}} = 2,87\text{kA}. \quad (11)$$

Vliv 3f asynchronního motoru na velikost zkratového proudu jsem v tomto případě při návrhu zanedbal, neboť jmenovitý proud motoru není větší jak 5% proudu zkratového I_K'' [2].

1.2 Oteplení kabelu

Konečné oteplení kabelu $\Delta\vartheta_\infty$, které vzniká průchodem proudu, vychází z konstrukce jeho jádra. Přitom se kabel ohřívá tím více, čím větší proud jím prochází a čím více izolační látky brání v přestupu tepla z vodiče do okolního (chladnějšího) prostředí. Míra tohoto přestupu je vyjádřena tepelným odporem T [$^{\circ}\text{C}/\text{W}$, popř. K/W mezi jádrem vodiče a okolím]. Tepelný výkon P přecházející do okolí zajistíme tak, že teplotní rozdíl mezi jádrem vodiče a okolním prostředím dělíme tepelným odporem [1]. Z této úvahy vyplývají následující vztahy

$$P = \frac{\Delta\vartheta_\infty}{T}. \quad (12)$$

V ustáleném stavu je tento výkon roven

$$P = R \cdot I^2, \quad (13)$$

a v čase odpovídá vývinu Jouleova tepla uvnitř kabelu.

Lze pak napsat rovnost výkonů

$$\frac{\Delta\vartheta_\infty}{T} = R \cdot I^2. \quad (14)$$

Po vyjádření hodnoty pro ustálené oteplení $\Delta\vartheta_\infty$ lze konstatovat, že oteplení vodiče roste s druhou mocninou kabelem procházejícího proudu. Tímto způsobem je vyjádřen princip, na jehož základě se určuje jmenovitý proud vodičů v závislosti na jejich oteplení, pokud se nebude brát v úvahu, že se odpor kabelu mění se zvyšující teplotou ($R = \text{konst.}$).

$$\Delta\vartheta_\infty = T \cdot R \cdot I^2 \quad (15)$$

$$\Delta\vartheta_\infty \sim I^2 \quad (16)$$

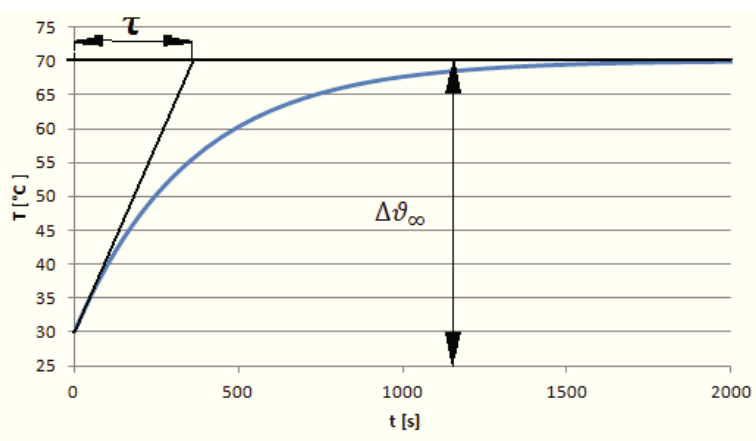
Uvedený vztah (16) platí pouze pro holé vodiče. Pro izolované vodiče a kabely je tato závislost nepříznivější. U nich oteplení dle [5] roste téměř s dva a půlroudou mocninou proudu.

$$\Delta\vartheta_{\infty} \sim I^{2,492} \quad (17)$$

Skutečné poměry při oteplování nebo ochlazování jsou však poměrně složité. Přivedené teplo se musí vždy rovnat teplu akumulovanému a tím teplu odvedenému do chladnějšího okolí. Pokud budeme předpokládat, že měrné teplo c a součinitel přestupu tepla α jsou konstantní, pak pro oteplení dostaneme vztah

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_{\infty} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \quad (18)$$

kde τ [s] je tepelná časová konstanta kabelu, tj. čas, ve kterém by těleso dosáhlo ustálené teploty, kdyby se žádné teplo neodvádělo do okolí. Velikost této konstanty závisí jednak na objemu a povrchu kabelu a také na jeho měrném teple c . Výpočet této konstanty nebude uveden, ale pouze bude využito tabulkové hodnoty výrobce, jelikož neznáme přesné složení izolace a pláště kabelu. Hodnota τ nám ovlivňuje pouze strmost nárůstu teploty, neovlivní výslednou ustálenou teplotu.



Obrázek 5 - Příklad oteplovací křivky kabelu

Pro $\Delta\vartheta$ jakožto logaritmické funkci (\ln) oteplování platí, že její subtangenta v každém bodě se rovná τ [1]. Oteplovací křivka má zpočátku téměř lineární průběh. Znamená to, že kabel začíná akumulovat vyvinuté teplo. Teplota stoupá a průběh se začíná měnit, tj. teplo se začíná předávat do okolí. K ustálené hodnotě oteplení $\Delta\vartheta_{\infty}$ se potom oteplovací křivka asymptoticky blíží a splyne s ní v nekonečnu.

Dle těchto výše uvedených vztahů lze vyjádřit po úpravě vztah pro oteplení izolovaného vodiče $\Delta\vartheta$ v Kelvinech, které je dané průchodem proudu I za čas t . Vstupní konstanty pro tento výpočet jsou pak dovolené proudové zatížení I_Z a dovolené oteplení $\Delta\vartheta_Z$ (v °C nebo v K) při tomto dovoleném proudu a časové konstantě kabelu τ .

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_Z \cdot \left(\frac{I}{I_Z}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) \quad (19)$$

Konstrukce kabelu AYKY je hliníkové jádro, izolace PVC, obal výplňová guma, plášť černá PVC, který je odolný proti UV záření. Pro kabel 1-AYKY-J 4x35mm² dle normy ČSN EN 332000-5-523 ed.2 je dovolený proud 96A, pro uložení typu E (více žilové kabely na vzduchu). Tato hodnota je

stanovena na základě tepelného namáhání kabelu vlivem průchodu proudu, které má vliv na životnost izolace PVC. Dovolená teplota pro PVC izolaci a tak i kabel AYKY je 70°C. Časová konstanta τ pro kabel je dle výrobců 354s. Údaje jsou vytvořeny na základě normativních údajů, se kterými norma počítá, tj. teplota okolí 30°C při uložení na vzduchu.

Dle zadaných údajů lze sestavit graf závislosti teploty na času podle vztahu pro oteplení, pokud budeme uvažovat zatížení kabelu 1-AYKY-J 4x35mm² 65A po dobu 24h. Dosazení do vzorce a příklad výpočtu

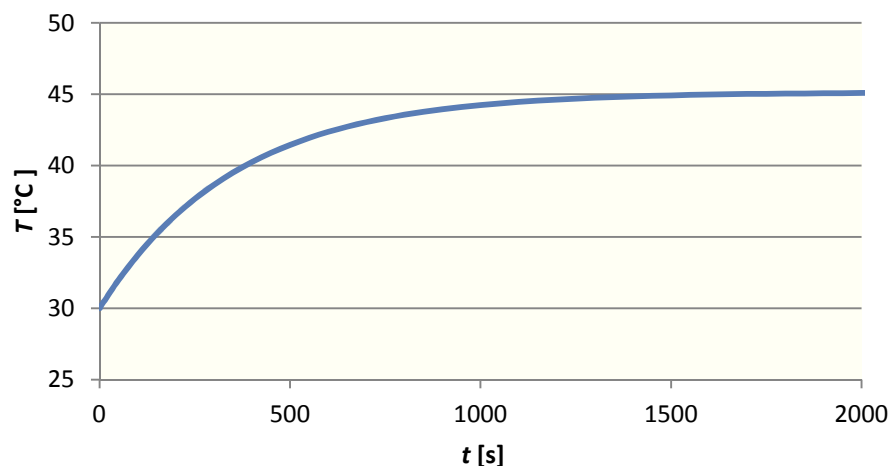
$$\Delta\vartheta_{11} = \Delta\vartheta_z \cdot \left(\frac{I}{I_z}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = (70 - 40) \cdot \left(\frac{65}{96}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{86400}{354}}\right) = 15,14^\circ\text{C} . \quad (20)$$

Výsledná teplota kabelu je

$$T = 30 + \Delta\vartheta = 30 + 15,14 = 45,14^\circ\text{C} . \quad (21)$$

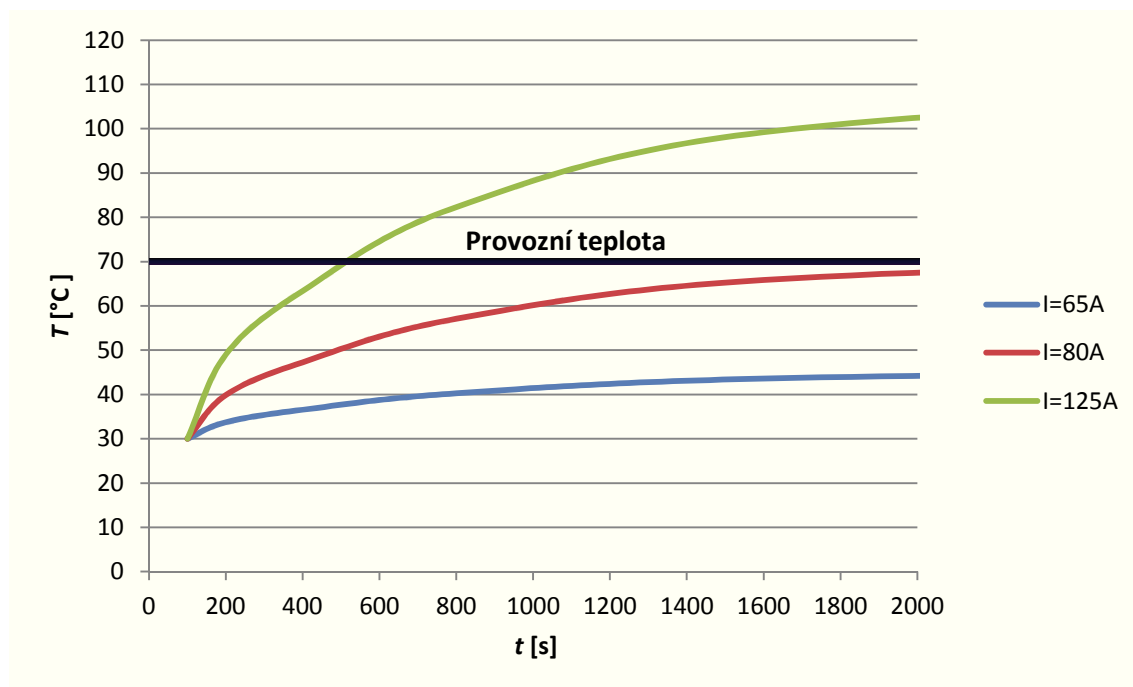
Tabulka 1 - Výpočet oteplení pro kabel 1-AYKY-J 4x35, zatížený proudem 65A

výpočet	čas [s]	čas [h]	oteplení [°C]	výsledná teplota kabelu [°C]
1.	100	0,03	3,7	33,7
2.	200	0,06	6,5	36,5
3.	400	0,11	10,2	40,2
4.	800	0,22	13,6	43,6
5.	1600	0,44	15,0	45,0
6.	3200	0,89	15,1	45,1
7.	6400	1,78	15,1	45,1
8.	86400	24,00	15,1	45,1



Obrázek 6 - Průběhu oteplení kabelu v závislosti na čase při zatížení jmenovitým proudem 65A

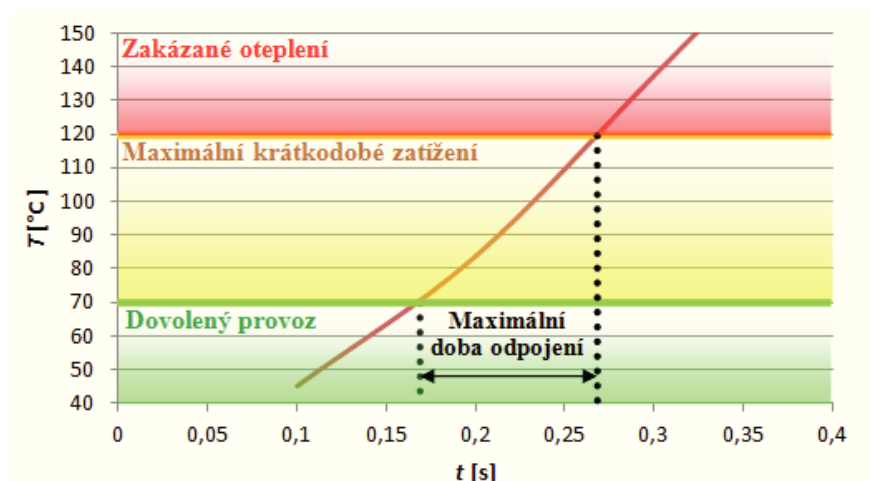
Další grafické vynesení na obr. 1 je pro jmenovitý proud tabulových nůžek, maximální dovolený proud kabelu 80A pro uložení typu E. Proud, na který je dle výrobce nutno jistit softstartér pro asynchronní motor 3f 30kW je 125A. Teplota kabelu nesmí přesáhnout 70°C (maximální provozní teplota pro kabel s PVC izolací). Kritická hodnota pro navrhovaný kabel 1-AYKY-J 4x35mm² je pak 120°C.



Obrázek 7 - Průběhy oteplení kabelu v závislosti na zvolených proudech

Z grafu na obr. 7 je patrné, že volba charakteristik pro jistící prvky musí být taková, aby v případě použití softstartéru pro 3f AM v přímém zapojení, který se dle pokynů výrobce musí jistit rychlými pojistkami gG 125A, vypnul jistící prvek motoru v čase 500s. Krátkodobé tepelné přetížení nad hodnotu 70°C je přípustné, ale rozběh delší jak 500s se nepředpokládá. Důležitá je taky selektivita jištění. Volby charakteristik jisticích prvků musí být takové, aby nadproud způsobený spouštěním nebo provozem motoru vybavil jako první motorovou ochranu, jakožto nejbližší jištění.

Pro případ vypočteného zkratového proudu na konci přívodního kabelu je teplota vodiče znázorněna v následujícím grafu na obr. 8. Doba odpojení v případě zkratového proudu musí být maximálně do 0,26s.



Obrázek 8 - Průběh oteplení kabelu 1-AYKY 4x35 při působení zkratového proudu

1.3 Nárazový zkratový proud i_p

Jak už bylo uvedeno v úvodu kapitoly zkratových poměrů, nárazový zkratový proud i_p proud je maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu. Jeho velikost je závislá na okamžiku, ve kterém zkrat nastane. U trojfázových zkratů se předpokládá, že zkratový proud vzniká ve všech fázových vodičích [3]. Lze jej vyjádřit dle vztahu (22)

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_K'' \quad (22)$$

Součinitel nárazového zkratového proudu κ lze vyjádřit

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_{K80}}{X_{K80}}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{70,77 \cdot 10^{-3}}{6,88 \cdot 10^{-3}}} = 1,02 \quad (23)$$

Dosazením do vztahu (22)

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_K'' = 1,02 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,87 \cdot 10^{-3} = 4,14 \text{ kA} \quad (24)$$

Při výběru jisticích prvků, zejména jističů, musí odolávat zkratovému proudu minimálně 4,14 kA. Z výběru produktových řad výrobců lze doporučit jističí prvky se zkratovou odolností 6 kA.

1.4 Úbytek napětí na přívodním kabelu

Úbytek napětí v průmyslových instalacích dle ČSN 341610 nesmí být větší jak 5% jmenovitého napětí. Tato skutečnost je dále vyjádřena vztahem pro trojfázový rozvod [3]

$$\Delta u = R_{K80} \cdot I \cdot \cos \varphi + X_{K80} \cdot I \cdot \sin \varphi \quad (25)$$

Dosazením do vztahu (25) dostaneme

$$\Delta u = R_{K80} \cdot I \cdot \cos \varphi + X_{K80} \cdot I \cdot \sin \varphi = 70,77 \cdot 10^{-3} \cdot 65 \cdot 0,95 + 6,88 \cdot 10^{-3} \cdot 65 \cdot 0,31 = 4,51 \text{ V} \quad (26)$$

Procentní vyjádření úbytku jmenovitého napětí je 1,13%, což rezervou vyhoví výše uvedené normě.

1.5 Ekonomické zhodnocení provozu kabelového přívodu hydraulických nůžek

Po grafickém vynesení na obr. 6 můžeme vidět, že teplota kabelu při zatížení 65A se ustálí na 45°C, za předpokladu, že okolní teplota je 30°C dle ČSN 33200-4-43 ed.2. Tato teplota však je v provozu kabelu dosahována jen výjimečně, ve skutečnosti je teplota okolí asi o deset stupňů nižší. Do výpočtu to však nezasáhne, jelikož se počítá jenom s rozdílem teplot. Pokud bychom chtěli spočítat ekonomiku provozu tohoto kabelu při zvažování asi 2600 hodin provozu ročně. Musíme uvést vztah pro Jouleovy ztráty

$$A = 3 \cdot R \cdot I_N^2 \cdot t. \quad (27)$$

Přičemž

$$R = \rho_{Al20} \cdot \frac{l}{S} \cdot (1 + \alpha_{Al} \cdot \Delta T) = 0,0285 \cdot \frac{80}{35} \cdot (1 + 0,004 \cdot (45,14 - 30)) = 69,09 \text{m}\Omega \quad (28)$$

Po dosazení do vztahu (27)

$$A = 3 \cdot R \cdot I_N^2 \cdot t = 3 \cdot 0,06472 \cdot 65^2 \cdot 2600 = 2276,79 \text{kW} \cdot \text{rok}^{-1}. \quad (29)$$

Při sazbě 2,5Kč/kWh je ztráta na kabelu 1-AYKY-J 4x35 celkem 5692Kč ročně.

Tato metodika výpočtu je využita v následující tabulce 2, kde je porovnání provozních nákladů při instalování jiných typů průřezu při provozu 2600hodin ročně, proudovém zatížení 65A, délce kabelu 80m a sazbě za kilowatthodinu 2,5Kč.

Tabulka 2 - Přehled ztrát na různých typech kabelů

Doba provozu 2600 hodin ročně, proudovém zatížení 65A, délka kabelu 80m, uložení typu E a sazbě 2,5Kč za kWh.								
č.	typ kabelu	průřez pracovních vodičů [mm²]	dovolený proud kabelu [A], dle ČSN 33200-5- 523 ed.2	dovolené oteplení [°C], dle ČSN 33200-4- 43 ed.2	vypočítané oteplení kabelu [°C]	roční tepelné ztráty [kW.rok ⁻¹]	roční finanční náklady [Kč]	pořizovací náklady dle ceníků IV./2012 [Kč]
1.	1-AYKY-J 4x35	35	96	70	15,14	2276,76	5 691,90	4 522,4
2.	1-AYKY-J 4x50	50	117	70	9,25	1558,32	3 895,80	6 062,4
3.	1-AYKY-J 4x70	70	150	70	4,98	1094,76	2 736,91	8 280,8
4.	1-AYKY-J 4x95	95	183	70	3,03	800,51	2 001,29	13 680,0
5.	1-AYKY-J 4x120	120	212	70	2,10	631,41	1 578,52	20 480,0
6.	1-AYKY-J 4x150	150	261	70	1,25	503,42	1 258,56	24 320,0
7.	1-CYKY-J 4x35	35	126	70	7,69	1382,02	3 455,05	25 129,6
8.	1-CYKY-J 4x50	50	153	70	4,74	956,35	2 390,86	35 699,2
9.	1-CYKY-J 4x70	70	196	70	2,56	677,25	1 693,13	49 387,2
10.	1-CYKY-J 4x95	95	238	70	1,58	497,09	1 242,73	66 491,2
11.	1-CYKY-J 4x120	120	276	70	1,09	392,77	981,92	83 839,2
12.	1-CYKY-J 4x150	150	318	70	0,77	313,81	784,53	104 295,2

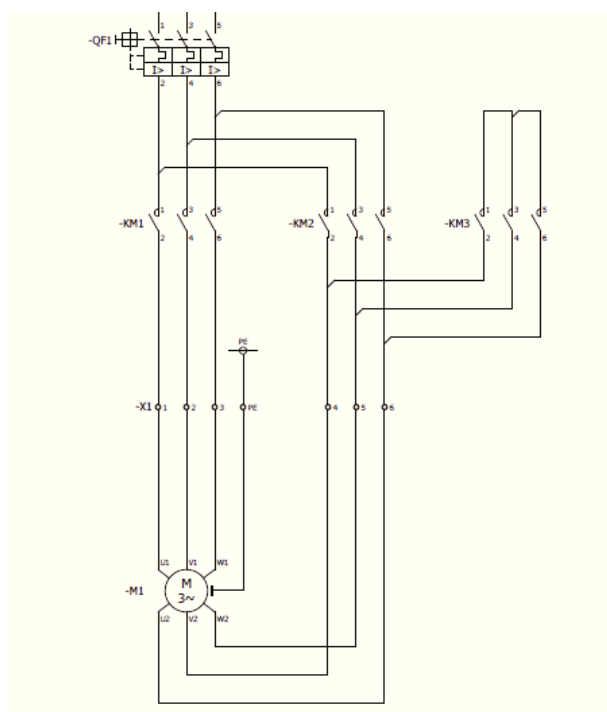
V případě, že by se investor rozhodl investovat do nového přívodního kabelu 1-CYKY-J 4x35mm², při uvažované životnosti stroje dalších 15 let a jeho provozu dle předešlých parametrů, úspora by činila i s pořizovacími náklady 8423Kč. Navyšování cen elektřiny nejsou brány v úvahu.

4. Spouštění asynchronního motoru

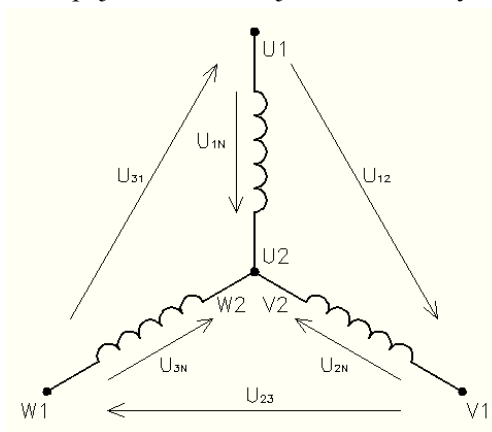
Asynchronní motor tabulových nůžek CNTA3150/16 pohánějící hydrogenerátor má výkon na hřídeli 30kW. Spouštění bylo zajištěno systémem hvězda-trojúhelník. Jištěný byl pojistkami 125A, což neodpovídá normě ČSN 34 1610 - Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách. Zde je hodnota jištění pojistkami stanovena na 63A a to včetně těžkých rozběhů. Nutno podotknout, že tato norma je platná od 1. 9. 1963. Tepelná ochrana byla zajištěna oddělovacími transformátory JT150. Tato kapitola posuzuje možnosti a výběr typu spouštění. Jelikož není potřeba řídit otáčky, řešení se vztahuje pouze na spouštění hvězda-trojúhelník a spouštění pomocí softstartéru.

1.6 Spouštění hvězda - trojúhelník

Pro spouštění motoru pomocí systému hvězda – trojúhelník viz obr. 9, se vývody statorových vinutí přepínají pomocí tří stykačů a na síť nízkého napětí 0,4kV. Prvně se vývody statorového vinutí zapojí do hvězdy, viz obr. 10.



Obrázek 9 – Schéma zapojení hvězda-trojúhelník s 3f asynchronním motorem



Obrázek 10 – Zapojení statorového vinutí do hvězdy

Při zapojení do hvězdy je fázové napětí 230V na jednotlivých fázích satorového vinutí. Jelikož krouticí moment motoru v pracovní oblasti mechanické charakteristiky je přibližně úměrný kvadrátu napětí, pak dle vztahu (30) a (31) je moment pouze třetinový.

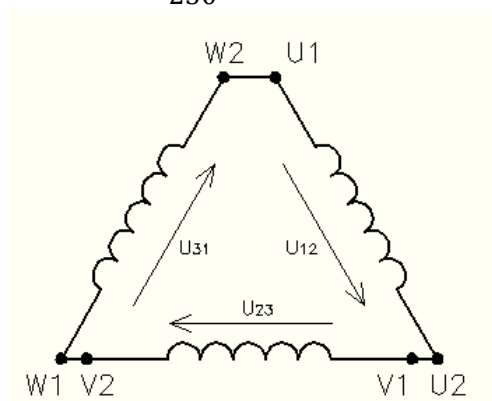
$$k_U = \frac{U_f}{U_S} = \frac{U_Y}{U_\Delta} = \frac{U_{1N}}{U_{L3-L1}} = \frac{230}{400} = 0,575 \quad (30)$$

$$k_U^2 \cdot M_{ZN} = 0,575^2 \cdot M_{ZN} \cong 0,331 \cdot M_{ZN} \quad (31)$$

Proud je také třetinový a to především pouze v pracovní oblasti momentové charakteristiky motoru.

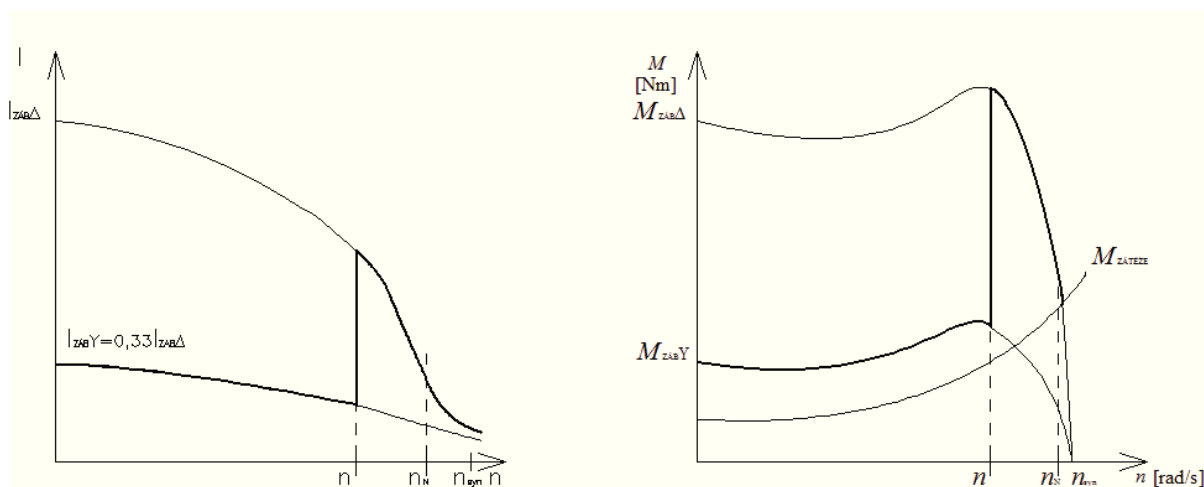
Po rozběhnutí motoru se satorové vinutí přepíná následně do trojúhelníku, viz obr. 2. Na jednotlivá satorová vinutí se připojí sdružené napětí 400V. Výkon motoru vzroste o tzv. činitel sdružení, který je rovný odmocnině ze tří dle vztahu (32)

$$\frac{400}{230} = \sqrt{3} \quad (32)$$



Obrázek 11 – Zapojení satorového vinutí do trojúhelníku

Nevýhodou tohoto systému jsou proudové a momentové špičky při přepínání, viz obr. 3. Další nevýhodou je šestivodičové zapojení pracovních vodičů.



Obrázek 12 - Průběh proudu a momentu při spouštění hvězda-trojúhelník

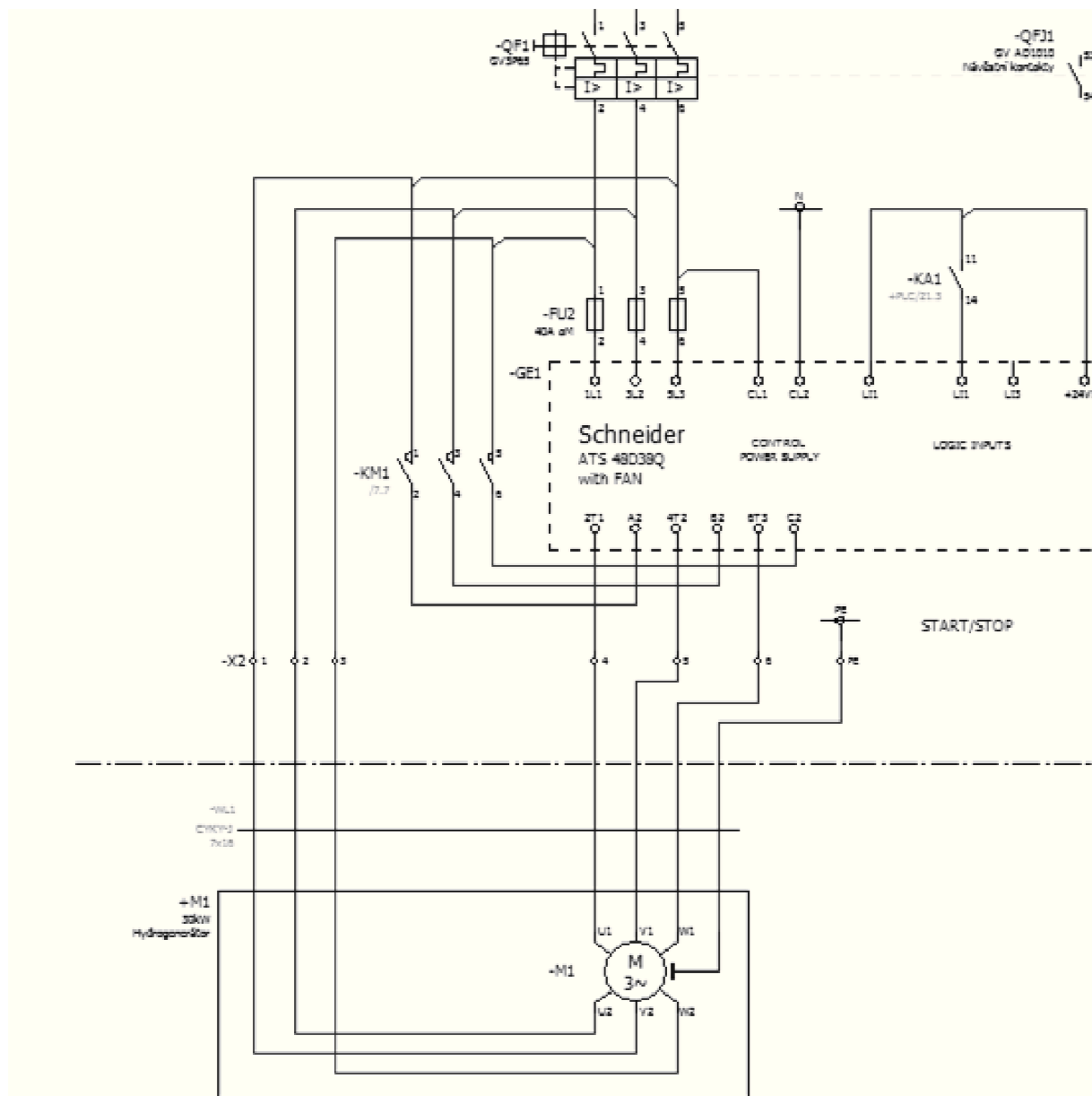
1.8 Výběr vhodného softstartéru

Výběr softstartéru se řídí dle parametrů motoru, to znamená jmenovité napětí, proud motoru a zejména typ aplikace. V případě hydraulického odstředivého čerpadla, které je užito v hydraulických nůžkách lze hovořit o normálním spouštění, namísto těžkého startu. Motor v nůžkách je 3f AM o výkonu 30kW. Napájecí napětí 400V a jmenovitý proud 63A, dle štítkových údajů. V případě takto zadaných vstupních parametrů je přirozená volba softstartéru pro výkon 30kW. Je nutno však brát v úvahu, že softstartér nevyužívá pro napájení sinusové veličiny, ale vlivem fázového řízení rozseká průběh proudu. Vlivem této aplikace dochází k harmonickému zkreslení a ztráty souvisí s kvadrátem okamžitých proudů. Výsledná odebíraná energie je potom vyšší. Tento jev je třeba brát v úvahu i při dimenzování výbavy instalace (stykače, relé atd.). Proto je nutno jistit softstartér pro výkon 30kW při přímém třívodičovém napojení pracovních vodičů jističem 80A nebo rychlými pojistkami 125A. V tomto případě by nemusela být zachována selektivita jištění a nadřazený jistič prvek by mohl vybavovat dříve nežli jištění motoru (jištění napájecího kabelu pojistkami gG 80A v rozvodně).

Praktické řešení této situace se naskytá v případě použití zapojení tzv. uvnitř trojúhelníku. V tomto případě, je každá fáze motoru zapojena do série s příslušným vinutím. Proud procházející softstartérem je pak o $\sqrt{3}$ menší a lze použít softstartér o menším výkonu [6].

$$I_{\text{nSOFT}} = \frac{I_n}{\sqrt{3}} = \frac{63}{\sqrt{3}} = 36,34\text{A} \quad (33)$$

Pro jmenovitý proud softstartu $I_{\text{nSOFT}}=36,34\text{A}$, je nejbližší vyšší hodnota výkonu softstartéru 18,5kW. V tomto případě je jištění na svorkách pojistkami aM 40A. Po rozběhu je také vhodné zapojit bypass softstartéru. Při této aplikaci však nelze využívat dojezdové rampy a je zde předpoklad vyšších harmonických, nežli při standardním zapojení. Schéma zapojení je uvedeno na obr. 15.



Obrázek 15 - Zapojení softstartéru uvnitř trojúhelníku

5. Provozování stroje a posuzování rizik

Provoz a používání strojů a technických zařízení u uživatele se řídí požadavky nařízení vlády č.176/2008 Sb. (Směrnice Rady EU 2006/42/EU) o povinnostech výrobce při uvádění výrobku na trh, do provozu nebo pro své vlastní účely. A také nařízením vlády č. 378/2001 Sb. (Směrnice Rady EU 89/655/EHS), které vyžaduje minimální požadavky na bezpečný provoz a ochranu zdraví při používání strojního zařízení. Provoz je taky zmiňován zákoníkem práce. Směrnice se vztahují na používání veškerých zařízení, včetně mobilních a zdvihacích zařízení na všech pracovištích a v každé situaci.

Dle zákonů a zmiňovaných nařízení vlády, musí zaměstnavatel nebo provozovatel strojních a technických zařízení provádět kontrolu provozovaných zařízení nebo zařízení uváděných do provozů. Kontroly musí být dle platných technických norem určeným pro danou technologii nebo zařízení, určené výrobcem nebo minimálně technickým předpisem provozovatele. Výjimkou jsou pak zkoušky na elektrické instalaci určené normou ČSN EN 60204-1.

Kontroly musí probíhat alespoň jednou ročně nebo v průběhu roku, dle zvoleného harmonogramu. Výkonným orgánem pro kontrolu těchto kontrol je oblastní inspektorát práce, jehož zřizovatel je Ministerstvo práce a sociálních věcí.

Elektrické požadavky jsou pak ve smyslu normy ČSN EN 60204-1, a to ověření, že elektrické zařízení odpovídá technické dokumentaci. V případě ochrany před nebezpečným dotykem neživých částí automatickým odpojením, musí být podmínky pro ochranu automatickým odpojením ověřeny. Dále zkouška izolačního odporu, napěťová zkouška, ochrana před zbytkovým napětím, funkční zkoušky. Při provádění těchto zkoušek se doporučuje dodržet výše uvedené pořadí. Je-li elektrické zařízení modifikováno, musí být část znovu ověřena a přezkoušena. Pro zkoušky automatického odpojení od zdroje a zkoušky izolačního odporu se používá měřicí zařízení dle souboru norem ČSN EN 61557 [7]. Zkoušky smí provádět oprávněná osoba ve smyslu vyhlášky 50/1978 Sb. o odborné způsobilosti v elektrotechnice.

Ze Zákoníku práce pro provozovatele vyplývá následující povinnost:

Provozovatel – zaměstnavatel je povinen v souladu se zákoníkem práce č. 262/2006 Sb. § 102 soustavně vyhledávat nebezpečné činitele a procesy pracovního prostředí a pracovních podmínek, zajišťovat jejich příčiny a zdroje. K tomu je povinen pravidelně kontrolovat úroveň bezpečnosti a ochrany zdraví při práci, zejména stav výrobních a pracovních prostředků - tedy i pracovních strojů - a vybavení pracovišť, úroveň rizikových faktorů pracovních podmínek, a dodržovat metody a způsob zjištění a hodnocení rizikových faktorů podle zvláštního právního předpisu. Zaměstnavatel je povinen nahrazovat nebezpečné technologie, výrobní a pracovní prostředky tedy i pracovní stroje, suroviny a materiály méně nebezpečnými nebo méně rizikovými v souladu s vývojem nejnovějších poznatků vědy a techniky (Zákoník práce, zákon č. 262/2006 Sb.).

Protože rekonstruované tabulové nůžky CNTA3150/16 byly vyrobeny v roce 1983, jak lze odečíst ze strojního štítku, je potřeba posuzovat z hlediska dnešních norem. Důležité je potom posuzování rizik pro obsluhu, jelikož se normy zásadně změnily. Další popis se zabývá rozбором nových norem, z hlediska požadovaných bezpečnostních funkcí. V případě rekonstrukce není potřeba vydávat prohlášení o shodě CE. To by platilo pouze v případě, že by stroj byl zásadně modifikován.

1.9 Normy pro řešení rizika

Pro řešení rizika strojních zařízení rozlišujeme bezpečnostní normy do třech typů, tj. normy typu A, typu B a typu C.

- Normy typu A jsou základní normy, které obsahují zásady a všeobecná hlediska, která mohou být aplikována na strojní zařízení. Normou typu A je i norma ČSN EN 12100 – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika.
- Normy typu B jsou skupinové bezpečnostní normy, které se zabývají jedním nebo více bezpečnostními hledisky nebo ochrannými zařízeními, která mohou být použita pro větší počet strojních zařízení. Normy typu B se dělí pak na B1 a B2. Bezpečnost lze posuzovat dle norem ČSN EN 13849-1 a ČSN EN 62061 (tyto normy jsou náhradou ČSN EN 954-1). Norma ČSN EN 62061 je mezinárodní normou. ČSN EN 13849-1 je vydaná evropským institutem CELENEC. Pro přechod od staré normy ČSN EN 954-1 je ČSN EN 62061 kompaktnější. Vhodnější použití mezi ČSN EN 62061 a ČSN EN 13849-1 je uvedeno v následující tabulce.
- Normy typu C se zabývají podrobnými bezpečnostními požadavky na konkrétní stroj nebo skupinu strojů.

Tabulka 3 - Doporučené užití norem ČSN 13849-1 a ČSN 62061 [8]

	Technologie realizují bezpečnostní ovládací funkci nebo funkce	ISO 13849-1	IEC 62061
A	Neelektrická, např. hydraulika	X	Nezahrnuje
B	Elektromechanická, např. relé a nebo neúplná elektronika	Omezena na stanovenou architekturu ^{a)} a až do PL=e	Všechny architektury a až do SIL 3
C	Úplná elektronika, např. programovatelná	Omezena na stanovenou architekturu ^{a)} a až do PL=d	Všechny architektury a až do SIL 3
D	A kombinovaná s B	Omezena na stanovenou architekturu ^{a)} a až do PL=e	X ^{c)}
E	C kombinovaná s B	Omezena na stanovenou architekturu (viz poznámku 1) a až do PL=d	Všechny architektury a až do SIL 3
F	C kombinovaná s A, nebo C kombinovaná s A a B	X ^{b)}	X ^{c)}
X udává, že tímto předmětem se zabývá mezinárodní norma, která je uvedena v záhlaví sloupce			
^{a)} Stanovené architektury jsou definovány v 13849-1, byl zjednodušen způsob pro kvantifikaci úrovně vlastností			
^{b)} Pro úplnou elektroniku: používání stanovených architektur podle této části ISO 13849 až do PL=d nebo jakékoliv architektury podle IEC 62061			
^{c)} Pro neelektrické technologie, používání části podle části ISO 13849 jako subsystému			

1.10 Nalezení rizika

Bezpečnostní funkce pro hydraulické nůžky lze stanovit ve smyslu ČSN EN 12100. Riziko je vyhodnoceno pro situaci pracovního stříhu nůžek. Před samotným stříhem sjíždí hydraulické přidržovače, které přichycují materiál a následně se spouští stříhací traverza na které je uchycen nůž. Tento nůž provede stříh materiálu a traverza se vrací do výchozí polohy. Během tohoto pracovního cyklu je nepřipustné, aby se obsluha stroje vyskytovala v blízkosti přidržovačů a nezasahovala do tohoto prostoru jakoukoliv končetinou. Případná nebezpečná situace by mohla zavinit přiskřípnutí ruky, prstu a následné zhmoždění, případně tržnou ránu.



Obrázek 16 - Znázornění rizikového místa u tabulových

1.11 Posouzení rizika rekonstruovaného zařízení

Pro posouzení rizika bude využita norma ČSN 13849-1. Pro vyhodnocení a následného ověření, je potřeba rozdělit proces do několika kroků [8]:

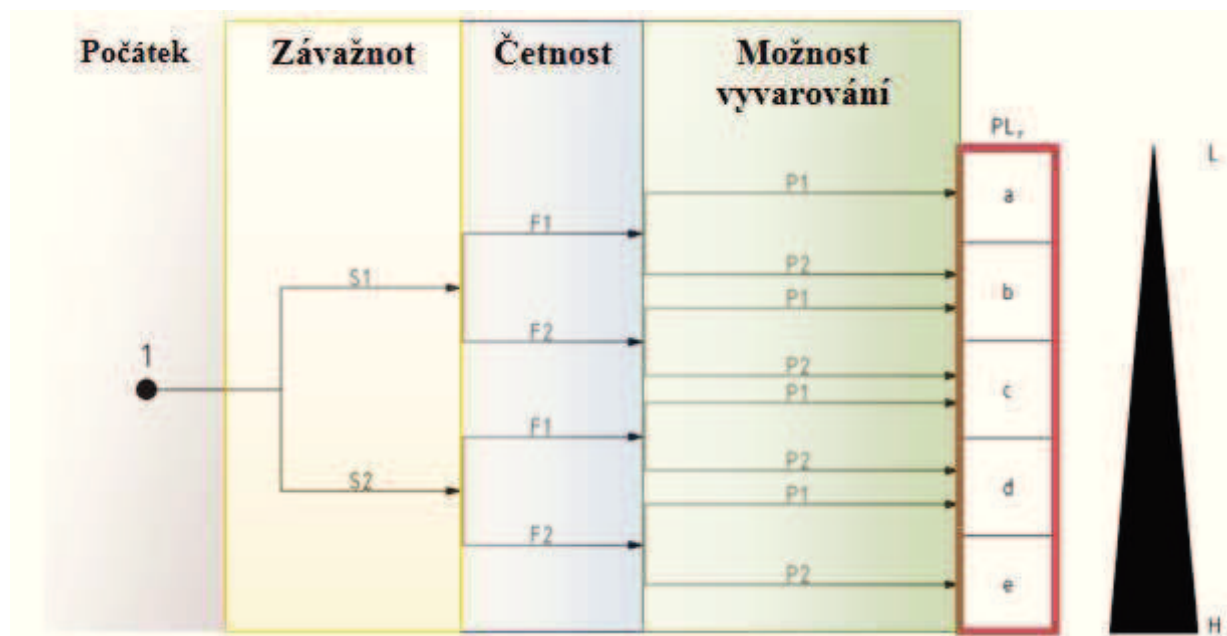
- A. Posouzení rizik a identifikace potřebných bezpečnostních funkcí.
- B. Stanovení požadované úrovně vlastností (PLr - required performance level) každé bezpečnostní funkce.
- C. Výběr a posouzení přístrojů, které mají vykonávat bezpečnostní funkci.
- D. Posouzení úrovně vlastností PL všech částí souvisejících s bezpečností.
- E. Ověření, zda je PL každé SRP/CS (název bezpečnostního řídicího systému stroje dle ČSN EN 13849 2) bezpečnostní funkce alespoň stejné jako PLr.
- F. Krok F – Ověření splnění všech požadavků dle ČSN EN 13849-2

1.12 Krok A – Posouzení rizik a identifikace potřebných bezpečnostních funkcí

Již byl proveden v kapitole nalezení rizika včetně návrhu bezpečnostního řešení.

1.13 Krok B – Stanovení požadované úrovně vlastností (PLr) bezpečnostní funkce

Tato úroveň se odečítá z následujícího pavoukového grafu:



Obrázek 17 - Graf rizika pro určení požadované úrovně vlastností (PLr) pro bezpečnostní funkci [8]

Parametry rizika jsou v grafu označeny písmeny:

- S – závažnost zranění (S1 nízké, S2 vysoké)
- F – četnost a/nebo vystavení nebezpečí (F1 řídká až málo častá a/nebo doba vystavení je krátká, F2 častá až nepřetržitá a/nebo doba vystavení je dlouhá)
- P – možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody (P1 možné za určitých podmínek, P2 sotva možné)

Výsledný PL_r se pak stanoví písmenem a až e, kdy a je (low) nejnižší a e (high) vysoký.

Stanovení úrovně rizika

Jak už bylo řečeno, výjimečná situace by mohla způsobit přiskřípnutí ruky, prstu a následné zhmoždění, případně tržnou ránu. To mohou být závažná zranění s trvalými následky, nutno volit S2. Vystavení nebezpečí je při každém pracovním cyklu. Tedy četnost nebezpečí častá, zvoleno F2. Možnost vyvarování je možná za předpokladu použití bezpečnostní funkce dvouručního ovládání, zvoleno P1. Dle grafu pak PL_r odpovídá kategorii d.

1.14 Krok C – Výběr a posouzení přístrojů, které mají vykonávat bezpečnostní funkce

Bezpečnostní řešení této situace je použití dvouručního ovládacího zařízení. Jelikož obsluhu mohou provádět dvě osoby, je namístě, aby ovládání bylo v tomto případě redundantní. Dvouruční ovládání musí být navrženo tak, že obsluha musí použít obě ruce současně. Tak dochází k současnému

ovládání, které je závislé na době zpoždění mezi iniciací každého z obou vstupních signálů. Doba zpoždění mezi stisky obou tlačítkových ovladačů nesmí být větší jak 0,5s [9]. Další požadavky zejména na konstrukci jsou shrnuty v normě ČSN EN 547+A1. V předchozím případě časovou prodlevu a spouštění bylo realizováno přes řídicí systém Almes, který byl založený na technologii DTL. Tento systém bude nahrazený řídicím systémem Simatic S7-1200. Také tento systém lze použít pro bezpečnostní funkci, ale bylo by za potřebí zajistit navržení programu dle normativních požadavků ČSN EN 13849-1, tj. užití programovacího jazyka s omezenou variabilitou LVL nebo plnou variabilitou FLV. Za jazyky LVL se považuje jazyk FBD (bloková schémata) a LD (releová schémata), oba dle normy ČSN EN 61131-3. Za jazyk FLV se považují i vyšší jazyky jako např. C, C++, ty však nepředcházejí programátorským chybám.

Jednodušší a méně pracnější řešení je použití bezpečnostního modulu, který splňuje všechny požadavky a lze pomocí něj blokovat spouštěcí funkce. Firma Schneider-Electric nabízí v produktové řadě Preventa modul XPSBF, který lze zapojit jako architekturu zapojení kategorie 3 nebo 4 dle ČSN EN13849-1. Jako vstupy budou použity standardní hříbové ovladače bez aretace s nuceně rozpínanými kontakty (produktová řada XB5, Schneider-Electric). Výstup bude naveden na univerzální nízkonapěťové relé (produktová řada RUM, Schneider-Electric)

1.15 Krok D - Posouzení úrovně vlastností PL všech částí souvisejících s bezpečností

Posouzení funkce vychází z výpočtu očekávané střední doby do poruchy $MTTF_d$ (mean time to failure). Pro určení $MTTF_d$ je potřeba zavést vstupní data:

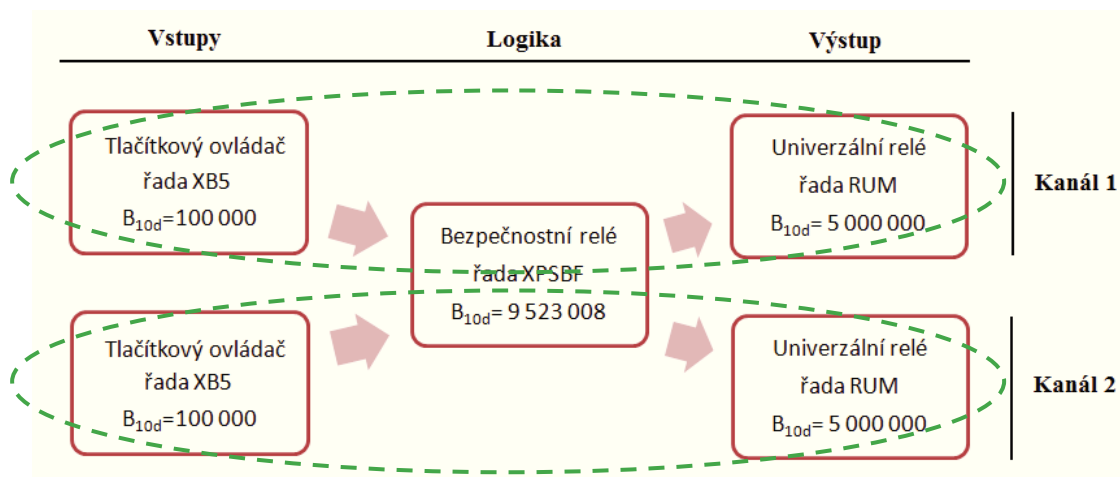
- n_{OP} – počet operací za rok (zadáva technolog nebo provozovatel)
- B_{10d} – předpokládaný počet operací než dojde k poruše přístroje (udávaný výrobcem)

Stejně jako v případě ekonomického hodnocení lze předpokládat, že nůžky budou v provozu 2600 hodin ročně. Pracovní cyklus bude nadhodnocen a bude se opakovat co deset minut, tj. 600s (pracovní doba netrvá celých osm hodin). Ze zadaných parametrů lze vypočítat n_{op}

$$n_{OP} = \frac{h_{ROK} \cdot 3600}{t_{CYKLU}} = \frac{2600 \cdot 3600}{600} = 15600 \text{ operací} \cdot \text{rok}^{-1}. \quad (34)$$

V případě B_{10d} je potřeba odečítat z katalogů pro vybrané přístroje. Veškeré vybavení pro výpočet je bráno z katalogu firmy Schneider-Electric. B_{10d} a blokové znázornění vybraného bezpečnostního systému dvouručního ovladače je uvedeno v následujícím obrázku. $MTTF_d$ pro každý prvek systému lze vypočítat dle vztahu

$$MTTF_d = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot n_{OP}}. \quad (35)$$



Obrázek 18 - Blokové znázornění vybraného bezpečnostního systému dvouručního ovládače

Pomocí zadaných hodnot lze stanovit střední dobu do poruchy $MTTF_d$ pro jednotlivé komponenty.

$MTTF_{d1}$ tlačítkový ovládač XB5 ($B_{10d} = 100000$ cyklů - hodnota dle výrobce) při uvažovaném n_{OP}

$$MTTF_{d1} = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot n_{OP}} = \frac{10^5}{0,1 \cdot 15600} = 64 \text{roků} . \quad (36)$$

$MTTF_{d2}$ bezpečnostní relé ($B_{10d} = 9523008$ cyklů - hodnota dle výrobce) při uvažovaném n_{OP}

$$MTTF_{d2} = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot n_{OP}} = \frac{9523008}{0,1 \cdot 15600} = 6105 \text{roků} . \quad (37)$$

$MTTF_{d3}$ univerzální relé ($B_{10d} = 5000000$ cyklů - hodnota dle výrobce) při uvažovaném n_{OP}

$$MTTF_{d3} = \frac{B_{10d}}{0,1 \cdot n_{OP}} = \frac{5000000}{0,1 \cdot 15600} = 3205 \text{roků} . \quad (38)$$

Celková doba do střední poruchy je stanovena převrácenou hodnotou sumy všech $MTTF_d$ pro jeden kanál dle vztahu (39)

$$MTTF_{dk1} = MTTF_{dk2} = \frac{1}{MTTF_{d1}} + \frac{1}{MTTF_{d2}} + \frac{1}{MTTF_{d3}} = \frac{1}{64} + \frac{1}{6105} + \frac{1}{3205} = 62 \text{roků} . \quad (39)$$

Výsledný čas do poruchy jednoho kanálu je 62let. Kanály jsou ale dva. Výsledná $MTTF_d$ je pak stejná i při použití stejných komponent. Vztah pro $MTTF_d$ obou kanálů je uveden vztahem (40) [8].

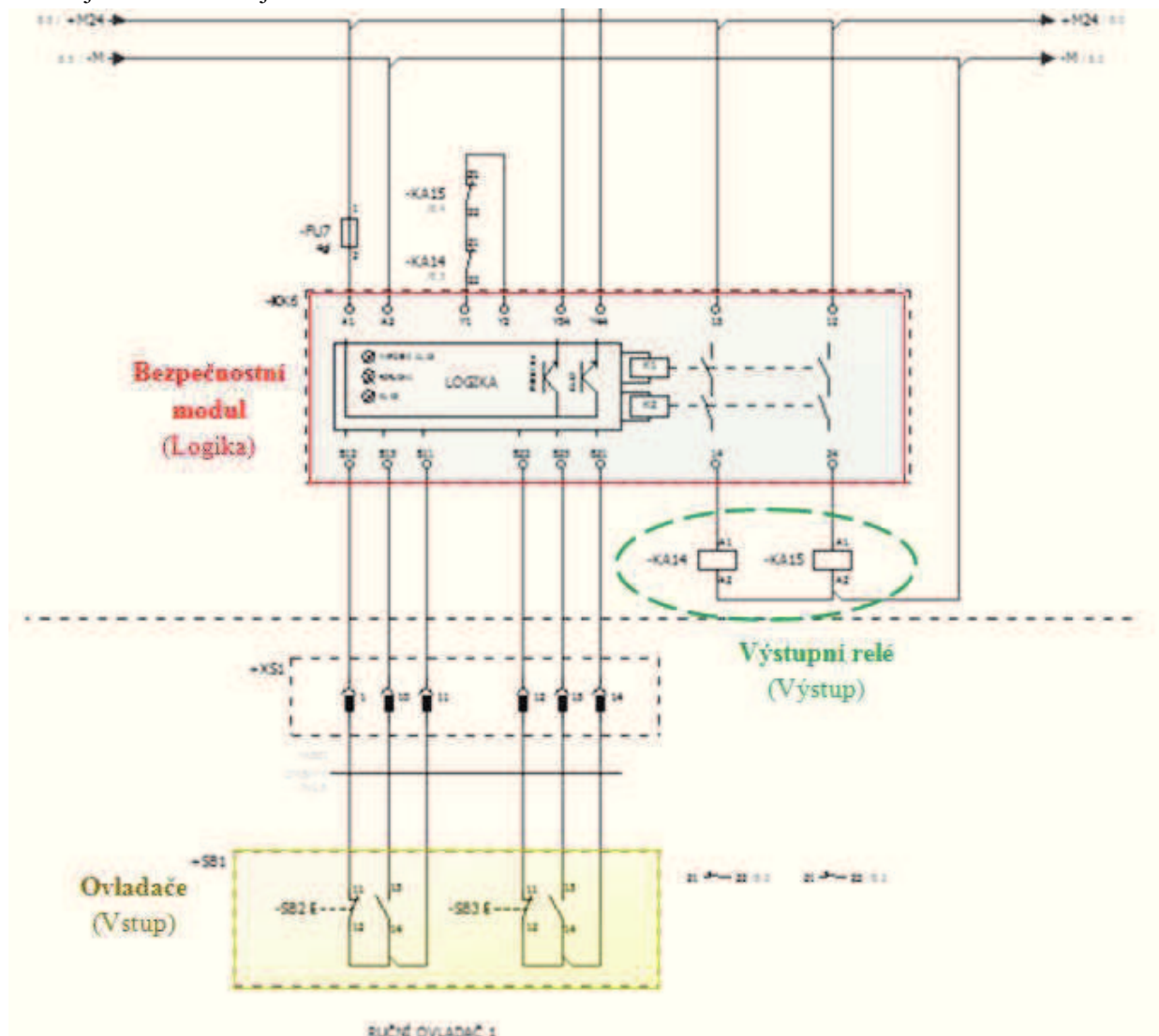
$$MTTF_d = \frac{2}{3} \cdot \left(MTTF_{dk1} + MTTF_{dk2} - \frac{1}{\frac{1}{MTTF_{dk1}} + \frac{1}{MTTF_{dk2}}} \right) \quad (40)$$

$$MTTF_d = \frac{2}{3} \cdot \left(62 + 62 - \frac{1}{\frac{1}{62} + \frac{1}{62}} \right) = 62 \text{roků} \quad (41)$$

Celková doba do poruchy je tedy 62roků, to znamená, že bylo dosaženo dlouhé střední doby do poruchy [8].

Nyní je potřeba vypočítat průměrné diagnostické pokrytí DC_{AVG} . To znamená míru účinnosti diagnostiky, která může být určena jako podíl intenzity detekovaných nebezpečných poruch a intenzity všech nebezpečných poruch [8]. Tyto poruchy mohou být detekovány pomocí zkoušek FMEA, které jsou popsány normou ČSN EN 60812. Poruchy mohou být také vyhodnoceny samotným systémem, za předpokladu stanoveném v tabulkách přílohy E normy ČSN EN 13849-1. Tato metoda je také ekonomicky a realizačně příznivější.

Pro každý prvek bezpečnostního systému musí být zahrnuta procentuální hodnota diagnostiky. Pro tento odhad je nutno znát jak vnitřní zapojení použitých komponentů, tak i schéma celého zapojení. Pro dvojruční ovládače je uvedeno na obr. 19.



Obrázek 19 - Zapojení bezpečnostního modulu dvojručního ovládání

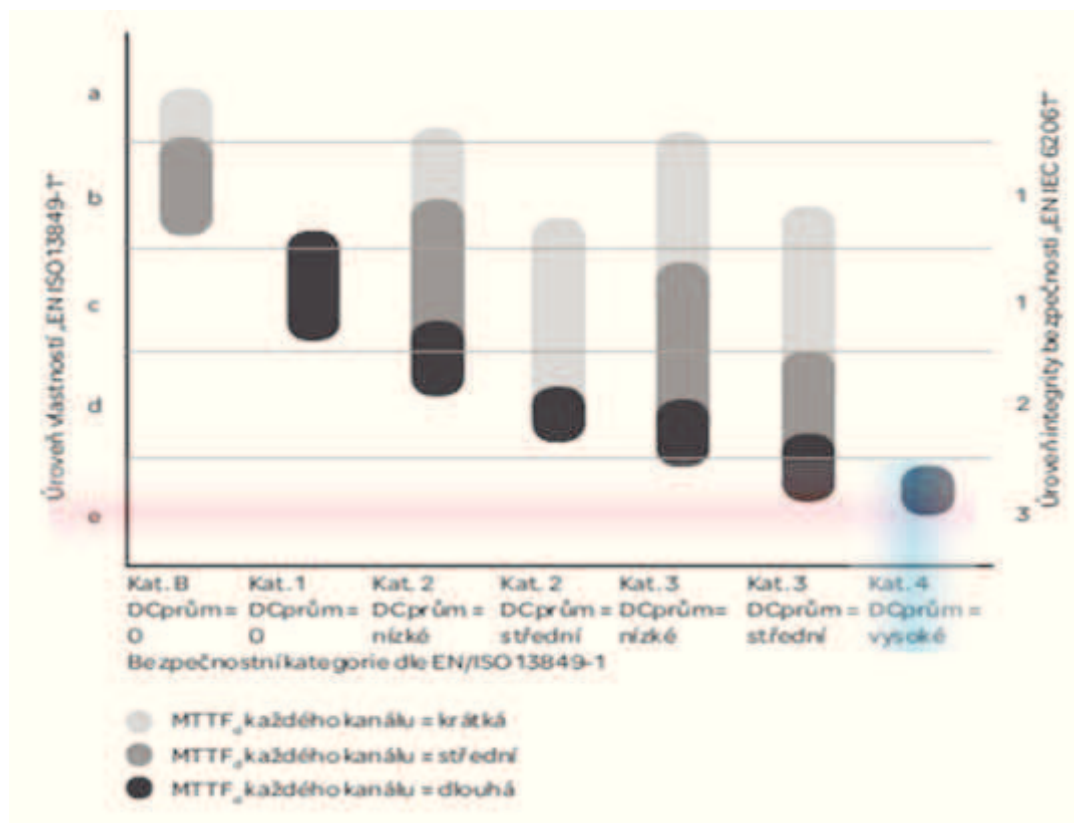
Ze zapojení je patrné, že vstupní ovládače SB2, SB3 jsou sledovány přímo, to odpovídá 99% diagnostickému pokrytí DC_1 . Bezpečnostní relé KK6 má výrobcem zaručenou kategorii e, tím i výrobce zajišťuje, že diagnostické pokrytí DC_2 nebude nižší nežli 99%. Mechanická relé KA14, KA15, které slouží k blokování ovládacích obvodů, mají jednu sadu kontaktů sledovanou bezpečnostním relé, to odpovídá opět vysokému diagnostickému pokrytí DC_3 99%. Získané hodnoty pro výpočet průměrného diagnostického pokrytí se dosadí do vztahu (42).

$$DC_{AVG} = \sum_{k=1}^n \frac{DC_n}{\frac{1}{MTTF_{dn}}} = \frac{DC_1}{\frac{1}{MTTF_{d1}}} + \frac{DC_2}{\frac{1}{MTTF_{d2}}} + \frac{DC_3}{\frac{1}{MTTF_{d3}}} \quad (42)$$

$$DC_{AVG} = \frac{0,99}{\frac{1}{64}} + \frac{0,99}{\frac{1}{6105}} + \frac{0,99}{\frac{1}{3205}} = 0,99 \Rightarrow DC_{AVG\%} = 99\% \quad (43)$$

1.16 Krok E - Ověření, zda je PL každé SRP/CS (název bezpečnostního řídicího systému stroje dle ČSN EN 13849-1) bezpečnostní funkce alespoň stejné jako PLr.

Výpočtem byla stanovena střední doba do poruchy $MTTF_d$ a střední diagnostické pokrytí DC_{AVG} . Z těchto získaných hodnot, lze stanovit kategorii PL na úroveň e, podle následujícího grafu na obr. 20. To je větší, nežli je požadované PLr, které je rovno d.



Obrázek 20 - Přiřazení kategorie dle DC_{AVG} a $MTTF_d$ [10]

Pro kategorii 4 platí, že pokud je střední doba do poruchy dlouhá (a krátkou nebo střední ani nepokrývá) musí systém splňovat požadavky tzv. poruchy se společnou příčinou *CCF* (common cause failure). Jednotlivé požadavky jsou bodově ohodnoceny v tabulce přílohy F.1 normy ČSN EN 13849-1. Za každý požadavek lze získat maximum bodů nebo bod žádný. Pokud některý z požadavků je splněn jen z části, získává nula bodů. Pokud dosáhne počet bodů víc jak 65, pak byly podmínky splněny. Pokud nedosáhne, proces selhal a je potřeba vyhledat další opatření [8].

1.17 Krok F – Ověření splnění všech požadavků dle ČSN EN 13849-2

Po instalaci veškeré elektro výzbroje včetně bezpečnostních obvodů je potřeba provést kontrolu. Účelem ověřování je potvrdit specifikaci a shodu zapojení bezpečnostních částí řídicího systému. Ověřování musí splňovat požadavky ČSN EN 13849-1. Musí být také prováděno osobami nezúčastněnými na konstrukci bezpečnostní části. Ověřování se skládá z analýzy nebo zkoušek popsanými normou ČSN EN 13849-2. Analýza se používá především k popsání a vymezení důvodů použití a jejími vstupy jsou především [11]:

- Nebezpečí identifikované během analýzy stroje
- Spolehlivost
- Konstrukce systému
- Kvalitativní hlediska

Všechny tyto body vycházejí z kapitoly 4.2 ČSN EN 13849-1.

Při analýze musí být brány všechny situace, které mohou nastat. Určeny účinky situací a jejich kritičnost. Základními typy analýzy jsou [11]:

- Shora dolů - analýza stromu závad (FTA - viz IEC 61025) a analýza stromu událostí (ETA).
- Zdola nahoru - analýza účinků a režimů poruchy (FMEA - viz IEC 60812) a analýza režimů, účinků a kritičnosti poruchy (FMECA).

Pokud ověření analýzou není dostatečné, musí se provést ověření zkoušením. Zkoušení je však vždy jako doplněk analýzy. Před zkouškou se musí vypracovat plán zkoušky, který obsahuje postupy zkoušky a očekávané výstupy chování stroje. V záznamu zkoušky pak musí být uvedeno jméno zkoušejícího, podmínky prostředí (mechanická odolnost, mechanická životnost, elektromagnetická kompatibilita, klimatické podmínky aj.), postupy zkoušky a samozřejmě vyhodnocení.

6. Návrh systému řízení technologického procesu a návrh čidel měření

1.18 Řídicí systém

Pro řízení stroje byl vybrán programovatelný automat od firmy Siemens Simatic S7-1200. Tento PLC se řadí do skupiny mikrosystémů. Jeho předností oproti jiným systémům je, že základní jednotka je vybavena komunikačním protokolem Profinet (Ethernet), přes který lze napojit základní dotykový panel, jenž je v zapojení využíván.

1.19 Koncové spínače polohy

Pro koncové spínače polohy bylo možno navrhnout indukční spínače. Jelikož by však instalace vyžadovala úpravu montážních míst v podobě vrtání nebo svařování přírub, v projektu je užito mechanických koncových spínačů od firmy Desko, a.s. Tyto spínače jsou obdobnou náhradou již používaných spínačů, nebude tedy potřeba dalších úprav na stroji a počet hodin montáže bude nižší.

1.20 Inkrementální čidlo

Inkrementální čidlo pro vyhodnocování polohy dorazového pravítka bude použito nové, ale stejného typu. Čidlo dodá zadavatel, není tudíž součástí dodávky, ale na požadavek zadavatele bude při realizaci instalováno. Minimální rozsah měření 0 - 1500mm⁻¹.

1.21 Měření teploty a hladiny hydraulického oleje

Měření teploty hydraulického oleje je velmi důležité, jelikož jeho viskozita je silně závislá na jeho teplotě. S teplotou klesá. To může mít za následek zadření hydrogenerátoru, klesání průtokové účinnosti hydrogenerátoru. Dle dohody s provozovatelem na používaném hydraulickém oleji nesmí teplota překročit 70°C. Hladina je a musí být měřena, aby se předešlo unikání oleje v případě netěsnosti hydraulického systému. Pro tyto účely jsem vybral sondu od společnosti Bühler technologies, modelová řada NT-M.

1.22 Měření hladiny mazacího oleje

Mazací olej je využíván pro mazání kulových čepů stříhací traverzy. Ostatní místa stroje se musí mazat ručně, dle provozní dokumentace pro údržbu. Olej lze měřit plovákovým čidlem nastaveným na minimální požadovanou výšku.

7. Ekonomické zhodnocení

Z ekonomického hlediska se tato investice do rekonstrukce tabulových nůžek CNTA3150/16 vyplatí již ze zjištění, že cena za používaný stroj z roku výroby 1983-1990 se pohybuje na internetových aukcích okolo 350 000Kč a to jak v České republice, tak i v zahraničí. Nový stroj obdobných parametrů, můžeme mít hodnotu okolo 800 000Kč. Krom ceny stroje, ať už staršího nebo nového, je taky nutno připočítat náklady na dopravu a instalaci, kdy nůžky mají hmotnost přes 16 tun. Byla by potřebná kamionová přeprava popř. práce autojeřábu, či jiného zdvihacího zařízení.

Z důvodu obchodní politiky nelze zveřejnit cenu rekonstrukce, ale lze říci, že ceně za nový nebo repasovaný stroj se nepřibližuje. Jelikož těchto strojů je dodnes poměrně hodně užíváno, je pravděpodobné, že by se mohl být projekt obdobně realizován.

8. Zhodnocení přínosu zkušeností ve firmě

Při práci ve firmě PROSPECT spol. s r.o. jsem měl možnost nahlédnout a prostudovat velké množství projektových dokumentací a aplikačních poznámek. Učil jsem se číst v technických a technologických dokumentacích, jak v nových instalacích, tak i instalací z let dávno minulých. Vylepšil jsem svou orientaci v normách a seznámil jsem se s nabídkou trhu v oblasti instalací nízkého napětí a systémů řízení technologických procesů.

Toto studium provázelo i spolupráce se zaměstnanci firmy a především s technickým ředitelem firmy Ing. Jiřím Stachem. Díky této spolupráci jsem měl možnost navštívit realizační zakázky a seznámit se s lidmi z provozu a s metodikou projektování v praxi, kterou jsem uplatnil nejen při realizaci této práce, ale budu jí využívat i pro případnou projekční činnost v budoucnu. Navíc jsem získané informace a zkušenosti využil pro doplnění studia.

Pro svou projekční činnost jsem hojně využíval projekční softwarový nástroj ePlan P8, jehož ovládání jsem si osvojil. Softwarová platforma ePlan P8 jakožto CAE systém, je jeden z důležitých nástrojů projektanta a zvládnutí všech jeho funkcí značně ulehčuje práci. Realizace projektů byla umožněna díky počítačovému pracovišti, které bylo zřízené za podpory prostředků projektu ESF „ICT a elektrotechnika pro praxi“, registrační číslo CZ.1.07/2.2.00/07.0351. Firma PROSPECT spol. s r.o. je partnerem tohoto projektu.

9. Závěr

Během své práce jsem se především seznámil s projektováním elektroinstalace strojních zařízení. Především pak s posuzování jejich bezpečnosti z hlediska norem a metodikou stanovení a vyhodnocení rizik. Výstupem, je pak dokumentace pro provádění rekonstrukce hydraulických nůžek CNTA 3150/16, která je přílohou této práce.

Před realizací dokumentace a výkresů bylo zapotřebí se seznámit s technologií stroje a způsobem ovládání. Tyto data jsem získal získány z technické dokumentace stroje a zápisu z jednání s provozovatelem stroje. Výstupem této části bylo technologické schéma nůžek, které je přílohou. Na základě těchto dat bylo nutno zhotovit výkresovou dokumentaci. K této dokumentaci patří také technická zpráva a všechny její náležitosti.

Dokumentace je zpracována v softwaru ePlan P8 a AutoCAD.

V teoretické části jsem rozebral stanovení parametrů pro napájení stroje z hlediska zkratových poměrů a tedy podmínek pro výběr elektrických přístrojů stroje. Jelikož byly známy pouze zkratové poměry v rozvodně budovy, bylo nutno stanovit podíl odporové reaktanční složky výpočtem. Výsledky byly porovnány se softwarovým nástrojem Sicher, všechny hodnoty se shodují. Výpočet je proveden i pro tepelné ztráty a průběhy teplot a oteplení na přívodním kabelu v závislosti na užívání stroje.

V samostatné kapitole jsem se zabýval spouštěním 3f asynchronního motoru s ohledem na selektivitu hlavního jištění stroje. Před rekonstrukcí bylo spouštění realizováno pomocí systému hvězda-trojúhelník. To však neodpovídá, současným trendům a lze tento systém realizovat pomocí softstartéru. Zde jsem uvedl způsob zapojení, tak aby vše vyhovělo jištění stroje.

V dalších kapitolách jsem uvedl legislativu, která je spojená s provozováním stroje. Vyhodnotil jsem riziko, které je spojené s provozováním stroje. Navrhl jsem bezpečnostní řešení a kategorii rizika dle postupu norem ČSN EN 12100 a ČSN EN 13849-1. Navrhnuté bezpečnostní řešení bylo ověřeno výpočtem. Zjištěním bylo, že jsem dosáhl nejvyšší úrovně bezpečnostní funkce dle uvedených norem. Tento postup výpočtu může být využíván jako návod pro tuto problematiku.

Tato dokumentace může být využívána pro rekonstrukci typové řady těchto strojních zařízení. To je v budoucnu nanejvýš pravděpodobné. Dle uvedené stručné ekonomické rozvahy se investice do rekonstrukce vyplatí s ohledem na ceny nových nebo použitých strojů s obdobnými parametry.

10. Citovaná literatura

- [1] ČSN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – část 0: Výpočet proudů. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [2] ČSN 333020. Výpočet poměru při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě. Praha: Vydavatelství norem, 1992.
- [3] Ing. Kříž, Michal. Dimenzování a jištění elektrických zařízení – tabulky a příklady (třetí aktualizované vydání). Praha: IN-EL, 2001, Sv. 87.
- [4] ČSN 332000-4-43 ed.2. Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [5] Hudeczek, Mečislav, a další. Metodika projektování elektrických sítí. Albrechtice: Hudeczek service s.r.o, 2011
- [6] ČSN EN ISO 13849-1. Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. Praha : Český normalizační institut, 2008.
- [7] ČSN EN 60204. *Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů – Část 1: Všeobecné požadavky*. Praha : Český normalizační institut, 2007.
- [8] ČSN EN 574+A1. Bezpečnost strojních zařízení - Dvouruční ovládací zařízení - Funkční hlediska - Zásady pro konstrukci. Praha : Český normalizační institut, 2008.
- [9] Schneider Electric CZ, s. r. o. Bezpečnostní příručka. URL: preventa.schneider-electric.cz. [Online] 8 2010. [Citace: 15. 3 2012.] preventa.schneider-electric.cz.
- [10] Schneider Electric, s.r.o. <http://www.schneider-electric.cz>, 1/2003.
- [11] ČSN EN ISO 13849-2. Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Ověřování. Praha : Český normalizační institut, 2009.

11. Seznam příloh

- a) Technická zpráva – **Příloha č. 1** (počet stran 6)
- b) Protokol o vnějších vlivech – **Příloha č. 2** (počet stran 3)
- c) Soupis dodávek a prací – **Příloha č. 3** (počet stran 3)
- d) Seznam zařízení – **Příloha č. 4** (počet stran 2)
- e) Seznam vstupů a výstupů řídicího systému – **Příloha č. 5** (počet stran 1)
- f) Výkresová dokumentace R1 – **Příloha č. 6** (počet stran 25)
- g) Dispoziční rozmístění přístrojů – **Příloha č. 7** (počet stran 1)
- h) Technologické schéma nůžek – **Příloha č. 8** (počet stran 1)